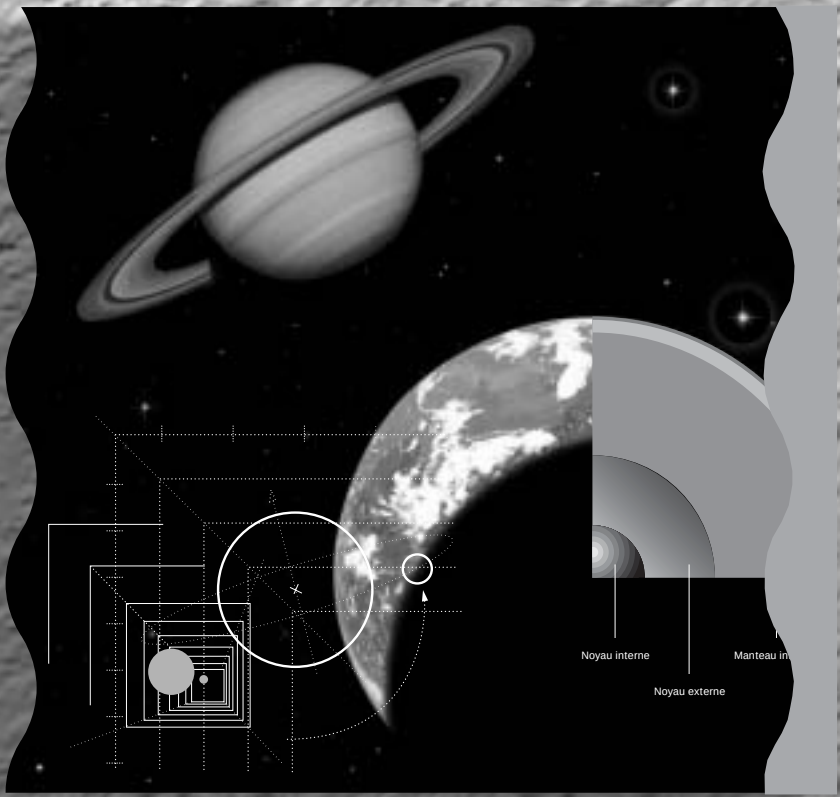
Machine Terre (vol.2)



In situ

Encyclopédie Audiovisuelle des Sciences et des Techniques

CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION PÉDAGOGIQUE
cndp
ET
HACHETTE Éducation

Machine Terre (vol.2)

In situ

Encyclopédie Audiovisuelle des Sciences et des Techniques

Guy SIMONIN
Jacques BOSC
Roger FOUCHER
Textes rédigés par:
Thérèse MOREAU
Bernard MSIHID

MACHINE TERRE
(vol. 2)

SOMMAIRE

- Volcans
- Tremblements de terre
- Sismographe
- Tomographie sismique
- Métamorphisme
- Tectonique des plaques
- Activité interne de la planète
- Risques naturels

Arborescences

IN SITU, MODE D'EMPLOI

Chaque commentaire vous apporte de nombreuses informations importantes organisées selon les rubriques suivantes :

➤ *DÉCOUPAGE* : les temps indiquent les débuts des séquences ;

➤ *OBJECTIFS* : ce que vous apprenez avec ce film ;

➤ *PRÉCISIONS* :

- *Sur la forme* : pour mieux utiliser les 4 minutes.
- *Sur le fond* : quelques explications sur certains choix des auteurs.

➤ *INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES* : un tableau pour connaître les niveaux (classes), les correspondances avec les programmes scolaires, le type d'utilisation en classe et surtout les points forts à développer ;

➤ *INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES* :

- *Histoire et perspectives* : un peu d'histoire des sciences ;
- *Pour approfondir* : des explications scientifiques et des schémas pour mieux comprendre le film ou pour aller plus loin ;
- *À voir* : c'est l'arborescence, les films de l'encyclopédie qui sont directement liés au sujet ;
- *Documentation* : quelques références et adresses pour en savoir plus.

En fin de livret, un INDEX vous permettra de connaître le film qui traite du mot clé que vous cherchez.

TOMOGRAPHIE SISMIQUE

Durée : 3 min 47 s

MOTS CLÉS

Séismes, plaques, ondes sismiques, courants de convection.

DÉCOUPAGE (les temps indiqués correspondent au début de chaque séquence)

Contexte : Historique des représentations de la structure du Globe .....10 s
Les causes des mouvements des plaques.....43 s
Un nouvel outil d'investigation : la tomographie sismique .....52 s

Explication : Le principe de la tomographie sismique .....1 min 09 s

Applications : Des images tridimensionnelles de la structure du Globe .....2 min 42 s
Mise en évidence des courants de convection dans le manteau.....3 min 10 s

OBJECTIFS

Faire comprendre :
– le principe de la tomographie sismique ;
– ses principales applications.

PRÉCISIONS

SUR LA FORME

Des animations présentent le principe de la technique qui permet de construire des images tridimensionnelles des variations de vitesse des rais sismiques à l'intérieur de la Terre. Elles montrent également les cartes colorées établies.

SUR LE FOND

Les animations sur la tomographie sismique sont réalisées avec un souci de simplification, ce qui permet de présenter à un large public cette technique peu connue.

INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES

niveau	thèmes de la leçon	type d'utilisation	points forts à développer
4e S.V.T.	**étude des séismes**	illustration complémentaire	les variations de vitesse des ondes sismiques
1re S S.V.T.	**organisation et activité interne de la planète**	• illustration • compréhension	les courants de convection dans le manteau

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

HISTOIRE ET PERSPECTIVES

■ De tout temps, l'Homme a cherché à comprendre la structure du Globe. Mais un voyage au centre de la Terre relève de l'utopie, et le forage le plus profond (12 km, dans la presqu'île de Kola) est bien peu de chose si on le compare aux 6 400 km du rayon terrestre. Pour pallier l'impossibilité d'une observation directe, la géophysique est vite apparue comme la seule science susceptible de proposer un modèle de notre planète. Elle regroupe plusieurs disciplines (géodésie, géochimie, physique des matériaux...), mais la plus efficace pour l'investigation des zones profondes est la *sismologie*. Cette dernière étudie en effet non seulement les tremblements de terre et leur impact, mais aussi *la propagation des ondes sismiques à l'intérieur du Globe*.

■ Au cours des 70 dernières années, les données fournies par les méthodes sismiques, et surtout la *vitesse moyenne de propagation des ondes en fonction de la profondeur*, ont permis de proposer un modèle simple de notre planète, sous forme de sphères emboîtées (croûte, manteau, noyau). Cependant, au cours des années 60, la géologie « a fait sa révolution », et la théorie de la *tectonique des plaques* s'est vite imposée. Elle nous oblige à prendre conscience que la Terre est une planète vivante, avec des continents qui se déplacent, des océans qui naissent, qui s'étendent et puis meurent ; que sa surface, la lithosphère, se morcelle en plaques qui tantôt sont absorbées, tantôt sont recréées à partir du manteau sous l'action de courants qui le parcourent.

■ Dès lors, le modèle un peu simpliste de notre planète devait être affiné. Une nouvelle technique, apparue dans les années 80, la *tomographie sismique*, faisant appel à la numérisation des données et à leur traitement informatique, permet d'obtenir des images du Globe en trois dimensions, selon le même principe que le scanner en médecine. Mais elle offre aussi la possibilité de mettre en évidence les mouvements de convection du manteau, moteurs du déplacement des plaques. La tomographie sismique n'a pas remis en cause le modèle initial dans ses grandes lignes, même si elle a révélé que la structure du manteau était beaucoup plus complexe qu'on ne l'imaginait. Mais cette technique a aussi ses limites. À la différence du scanner, qui dispose

d'une source d'énergie réglable à volonté, la tomographie sismique ne peut construire ses images qu'à partir de séismes dont les épicentres ont une répartition très hétérogène, car 99 % se situent au niveau des limites des plaques, et dont peu sont utilisables, ce qui ne permet pas une bonne précision.

Il est vite apparu indispensable d'étendre le réseau de sismographes.

■ Depuis 1977, un réseau mondial de sismomètres numériques enregistre les *ondes de surface* sur bandes magnétiques utilisables directement par les ordinateurs. D'autre part, le Centre International de Sismologie, situé près de Londres, centralise les données fournies par plus de 1 000 stations « classiques » qui enregistrent les ondes primaires et secondaires.

Au début des années 80, les sismologues de cinquante universités se sont associés pour fonder l'I.R.I.S. (Association des Instituts de Recherche en Sismologie). Cet organisme a pour objectifs la modernisation des équipements et l'augmentation du nombre des stations « longue période », ainsi que l'installation de 1 000 sismomètres mobiles. Ces deux types d'installations devraient permettre de mesurer l'étendue du mouvement des plaques et d'obtenir des images précises du manteau et des courants qui le parcourent.

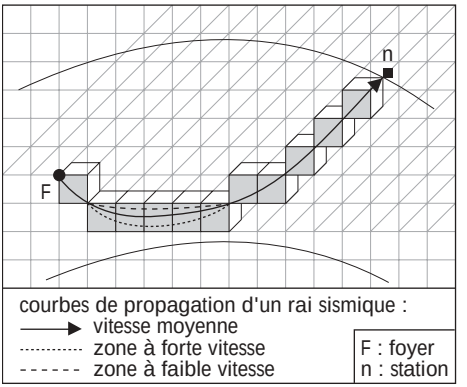
POUR APPROFONDIR

■ Le principe de la tomographie sismique

Un tremblement de terre est à l'origine d'ondes sismiques que le Globe transmet, car il constitue un milieu élastique. Dans une première étape, la sismologie classique s'est d'abord attachée à mesurer la vitesse moyenne de propagation des ondes de volume, ce qui a permis de définir les principales unités du Globe.

Une autre démarche fructueuse a consisté à localiser les foyers des séismes profonds qui se répartissent dans certaines zones selon des plans inclinés. C'était la première démonstration d'une hétérogénéité latérale du manteau, là où les plaques s'enfoncent. Mais les autres variations latérales, liées aux courants de convection, ne pouvaient être mises en évidence qu'à l'aide des techniques tomographiques permettant une véritable échographie de la Terre.

La tomographie sismique est fondée sur la description des écarts de vitesse de propagation des ondes par rapport à une vitesse moyenne théorique calculée pour chaque profondeur. Elle s'applique à positionner ces anomalies de vitesse. Pour cela, on décompose les milieux traversés par les rais sismiques en une série de cubes ; pour chacun, on établit la vitesse moyenne théorique en fonction de sa profondeur. Un rai sismique partant d'un foyer va traverser certains de ces volumes pour parvenir à une station d'enregistrement (*cf. doc.* 1).



1. Principe de base de la tomographie sismique.

Son temps de parcours sera fonction de sa vitesse et de son trajet dans chaque cube. La différence entre le temps observé et le temps théorique (le délai) met en évidence des hétérogénéités de vitesse, calculées pour chaque volume par ordinateur. Il va de soi que, pour délimiter des zones anormales, il faut combiner les données fournies par une multitude d'ondes entrecroisées, traitées à l'aide d'ordinateurs puissants.

Ce sont les ondes de surface de période lente qui sont utilisées pour délimiter ces zones dans le manteau supérieur. Avec le même principe, on étudie le manteau inférieur à partir des ondes de volume.

On peut ainsi trouver des zones « lentes » corrélées avec des régions peu denses, chaudes et ascentionnelles (représentées en rouge et jaune), et des zones « rapides » assimilées à des régions froides et denses (représentées en bleu). Les cartes ainsi obtenues à différentes profondeurs peuvent être superposées pour obtenir des modèles tridimensionnels du manteau ou du Globe.

■ Les apports de la tomographie sismique

Cette technique a permis de mesurer les *variations latérales* de la vitesse des ondes sismiques, et d'en déduire la *température* et la *densité* des couches concernées.

• *Étude des zones volcaniques*

Il est possible de localiser les *chambres magmatiques* situées sous les volcans. Par exemple, un batholithe de 100 km de diamètre a été repéré dans la croûte sous la caldeira de Yellowstone.

• *Étude de la lithosphère et du manteau*

– *Dans une région limitée :* par exemple, la région méditerranéenne.

Une étude précise a montré que l'enfoncement de la plaque africaine sous la plaque Europe se poursuivait à une plus grande profondeur que ne le laissait supposer la localisation des foyers de séismes.

– *Pour l'ensemble de la Terre :*

la tomographie sismique confirme les enseignements de la tectonique des plaques, la remontée de matériaux chauds sous les dorsales, la propagation rapide des ondes sous les boucliers refroidis.

Plus profondément, la corrélation entre anomalies et structures de surface est moins nette. Ainsi, les zones chaudes alimentant les dorsales sont décalées.

– *Mise en évidence des courants de convection (cf. Activité interne de la planète).*

– *Étude du noyau :*

mise en évidence d'une *anisotropie* de la graine (le noyau interne serait hétérogène).

À VOIR

■ TECTONIQUE DES PLAQUES
■ SISMOGRAPHE

DOCUMENTATION

• "La Convection dans le manteau terrestre", P. Machetel, *La Recherche* n° 266, juin 1994.

• "La tomographie sismologique", G. Poupinet, *La Recherche* n° 210, mai 1989.

• "La tomographie sismique", Don Anderson et Adam Dziewonski, *Pour la Science*, décembre 1984.

• *Comprendre et enseigner la planète Terre*, J. Ulysse (dir.), Ophrys, 2003.

INDEX

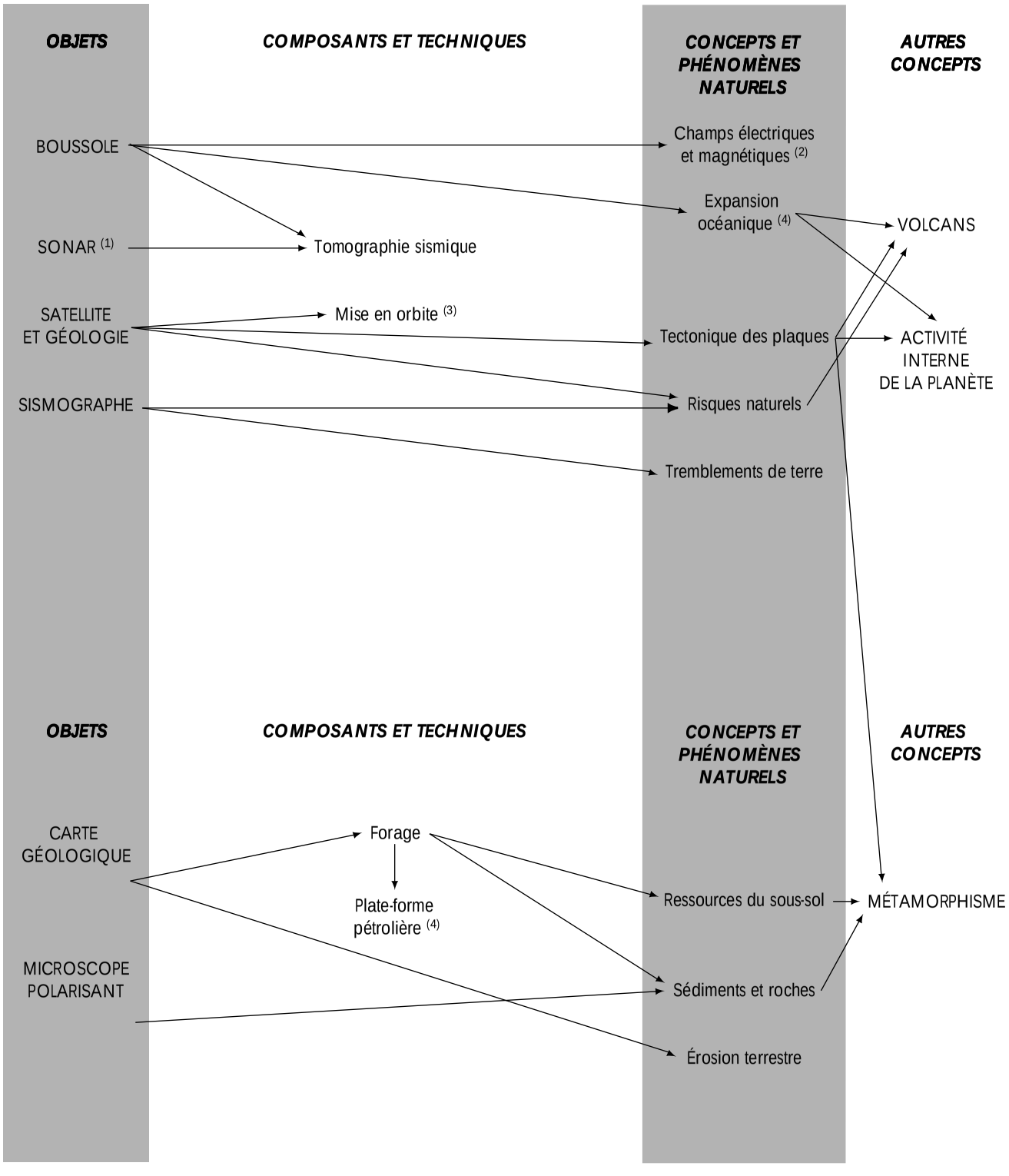
Mots clés	Films (volume 1 ou volume 2 de cette série)
affleurements	carte géologique
aléas	risques naturels
altération chimique	érosion terrestre
argiles	sédiments et roches
calcaires	érosion terrestre/sédiments et roches
carottage	forage
chambre magnétique	volcans
collisions	tectonique des plaques
cône volcanique	volcans
convection	activité interne de la planète
courants de convection	tomographie sismique
cristallisation	sédiments et roches
cristaux	microscope polarisant
croûte	sismographe/tectonique des plaques
datation	carte géologique/forage
déclinaisons magnétiques	boussole
déforestation	érosion terrestre
derrick	forage
dorsales	tectonique des plaques
échanges thermiques	activité interne de la planète
environnement	carte géologique
épicentre	tremblements de terre
érosion mécanique	érosion terrestre
éruption	volcans
faille	satellites et géologie/carte géologique/tremblements de terre
filtre polarisant	microscope polarisant
fossiles	sédiments et roches
foyer sismique	tremblements de terre
gisements	ressources du sous-sol
gneiss	métamorphisme
gradient géothermique	forage
granite	érosion terrestre
hautes pressions	métamorphisme
hautes températures	métamorphisme
images satellitales	satellites et géologie
inversions magnétiques	boussole
isotropie	microscope polarisant
lave	volcans
lithosphère	tectonique des plaques/activité interne de la planète

Mots clés	Films (volume 1 ou volume 2 de cette série)
lumière polarisée	métamorphisme, microscope polarisant
magma	volcans
magmatismes	tectonique des plaques
magnétisme terrestre	boussole
magnétosphère	boussole
manteau terrestre	volcans/sismographe/tectonique des plaques/activité interne de la planète
minéralogie	microscope polarisant
minéraux métamorphiques	métamorphisme
noyau	sismographe/activité interne de la planète
ondes de cisaillement	sismographe
ondes de compression	sismographe
ondes sismiques	tomographie sismique
orbite	satellites et géologie
pendage	carte géologique
pétrole	ressources du sous-sol
plaques	tomographie sismique
plis	carte géologique
pôle magnétique	boussole
radioactivité	activité interne de la planète
réfringence	microscope polarisant
ressources minérales et énergétiques	ressources du sous-sol
risques	risques naturels
roches	ressources du sous-sol
sables	sédiments et roches
schistes	métamorphisme
séismes	tremblements de terre/tomographie sismique/tectonique des plaques
subduction	tectonique des plaques
tectonique	satellites et géologie/tremblements de terre
télédétection	satellites et géologie
trépan	forage
verre	microscope polarisant

CRÉDIT PHOTOGRAPHIQUE (jaquette du coffret et couverture du livret)

- Matière et énergie : © J.-C. Gérard / DIAF.
- Techniques de communication : © D. Thierry / DIAF.
- Matériaux et productions : © M. Rosenfeld / DIAF.
- Santé : © H. Gyssels / DIAF.
- Génie génétique et biotechnologies : © DCRI NIH CMSP / BSIP.
- Organisation et évolution du vivant : © K. Manfred / SPL / COSMOS.

ARBORESCENCES



(1) série ONDES ET VIBRATIONS (thème Matière et énergie)
(2) série ÉLECTRICITÉ (thème Matière et énergie)
(3) série EXPLORATION SPATIALE (thème Terre et Univers)
(4) série OCÉANOGRAPHIE (thème Terre et Univers)

IN SITU
Encyclopédie Audiovisuelle des Sciences et des Techniques

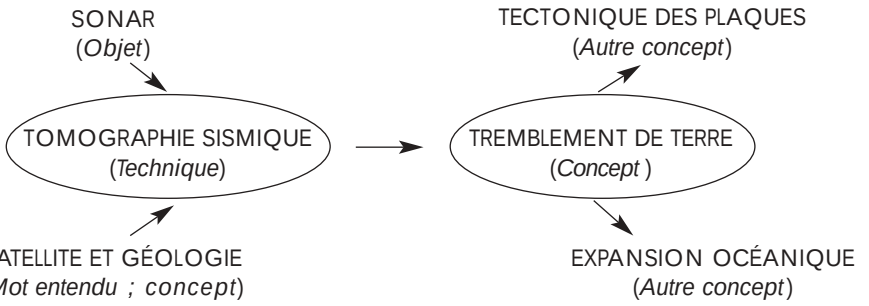
À l'heure de la Communication, la Technologie apparaît dans tous les domaines (industrie, environnement, santé, recherche… et confort de l'Homme).
De nombreux appareils font partie intégrante de notre quotidien, à tel point que nous ne les remarquons même plus ! Des découvertes très importantes ou des phénomènes naturels nous sont souvent rapportés, sans que nous puissions en mesurer la véritable portée par manque d'information.
Un vocabulaire propre à la description de ces éléments, ou événements, peut pourtant être compris et utilisé par quiconque.

L'ENCYCLOPÉDIE AUDIOVISUELLE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES a donc été conçue pour tout esprit curieux qui souhaite en savoir plus sur tout ce qui l'entoure. Pour un sujet, un film explique la signification de termes, ou mots clés, qui s'y rapportent. Chacun d'eux est donc une entrée à la compréhension et à l'apprentissage des Sciences et des Techniques, qu'elles appartiennent au passé, au présent ou au futur.

Chaque film, de 3 à 4 minutes, est donc conçu pour explorer, expliquer les mots clés, à travers un objet, une technique ou un concept scientifique. Ainsi, chaque titre propose :
– des rappels ;
– des définitions ;
– des explorations pour mieux comprendre un fonctionnement ;
– des animations pour représenter des phénomènes complexes ;
– des découvertes et des applications ;
– un historique (sauf pour quelques titres) ;
– un renvoi aux autres films de l'Encyclopédie directement liés au sujet.

Tous les films ont été mis au point par une équipe composée de chercheurs, techniciens et pédagogues. À terme, la collection comprendra 44 cassettes, soit 310 films.
Leur *principe de base* : l'utilisateur doit pouvoir accéder à l'information scientifique par différents mots clés qui correspondent soit à un objet, soit à un composant, soit à un concept. (Voir les arborescences ci-dessous et pp. 6 et 7.) Pour chaque série, un INDEX (situé en fin de livret) regroupe tous les mots clés avec le(s) film(s) correspondant(s).

Exemple d'arborescences de l'Encyclopédie Audiovisuelle des Sciences et des Techniques :



Remerciements :

HACHETTE Éducation et le CNDP tiennent à remercier :

• le *comité scientifique* :
Jean-Michel BERARD, Inspecteur Général de Physique ; Jacques BODINEAU, E.N.S. Cachan ; Paul CARO, Délégué aux Affaires scientifiques, C.S.I. La Villette ; Jean-Yves DANIEL, Inspecteur Général de Physique ; Jean DEFER, Professeur de Physique, I.U.F.M. d'Auteuil ; Francis DELINEAU, Directeur C.E.T.A.P.-E.D.F. ; Josette FOURNIER, Professeur de Chimie, I.U.T. d'Angers ; Paul GAILLARD, Directeur de l'enseignement pédagogique, U.T.C. Compiègne ; Rodolphe LEGENDRE, Directeur-adjoint du C.R.D.P. de Strasbourg ; Pierre JOUBERT, Professeur de Physique appliquée, E.N.S. de Cachan ; Robert LARUE, Inspecteur Général, Sciences de la Vie et de la Terre ; Jean-Michel LEFOUR, Professeur de Chimie, École Polytechnique ; Gérard MARY, Professeur de Physique, U.F.R. Sciences de Reims ; Marie-Christine MILOT, D.I.S.T.N.B., Ministère de l'Éducation Nationale ; Hélène ORMIÈRES, D.I.S.T.N.B., Ministère de l'Éducation Nationale ; Jacques PEVET, D.F.P., E.D.F. ; Francis RUMPF †, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche ; Jacqueline TINNÈS, Présidente de l'Union des Physiciens ; Jean ULYSSE, Président de l'Association des Professeurs de Biologie-Géologie ;

• les *entreprises et organismes* :
Ambassade des États-Unis en France, Service de presse ; Institut de Physique du Globe de Strasbourg ; J.H. WOODHOUSE et A.M. DZIEWONSKI ; crédits images C.N.R.S. audiovisuel ; Agence France Presse ; ELF ; IFREMER ; ENERGY FILM LIBRARY ; Ministère de l'Intérieur ; Sécurité civile ; C.R.D.P. de Strasbourg ; Jean-Clauve SEVETTE ; Lycée Clémenceau de Nantes ; Professeur COUDRAY, doyen de la Faculté des Sciences, Université de la Réunion ; Messieurs OMEZ et PERIER, Ingénieurs à la D.D.E. de la Réunion ; Monsieur SOLAGE, Directeur du B.R.G.M. de la Réunion ; Messieurs RICARD, géochimiste, et RACHELERY, vulcanologue Directeur de l'Observatoire vulcanologique de La Fournaise ; Monsieur HAURIE, géologue ; Maison du volcan, Région Réunion ; R.F.O. Réunion ; Sécurité civile, Préfecture de La Réunion ;

■ Pour les films *Tremblements de Terre, Sismographe, Tomographie sismique* :
• les *auteurs* : Christine SCHAAF ; Jean-Louis KLEIN ; Marc SCHWEBEL ;
• le *réalisateur* : Pierre BISCHOFF, sous la *coordination* de François MANGENOT ;
• les *conseillers scientifiques* : André SCHAAF ; Hubert WHITECHURCH ; Jeannot TRAMPERT ;

■ Pour les films *Métamorphisme* et *Activité interne de la planète* :
• les *auteurs* : Sylvie NICOL ; François HAUBERTIN ;
• la *réalisation et les images* : François HAUBERTIN ;
• l'*assistante de production* : Jocelyne FOUCHÉ ;
• l'*infographiste* : Jean-Paul KERBART ; la *voix* : Emmanuelle ROSSIGNOL ; la *musique* : Loïc GOURVENNEC ;

■ Pour le film *Tectonique des plaques* :
• les *auteurs* : Gérard BONHOURE ; Jean-Claude SIBUET ;
• le *réalisateur* : Pierrick DAVID ;
• les *infographistes* : Guillaume REDOIS (2D) et Morgan REITZ (3D) ;

■ Pour les films *Volcans* et *Risques naturels* :
• l'*auteur* et *réalisateur* : Gérard THIAULT ;
• la *prise de vue* : Jean-Pierre VIAL ; la *prise de son* et le *montage* : Serge SOUBAYA ; l'*infographie* : Alix VIENNE ;
• l'*assistante de production* et la *voix off* : Isabelle LOCHET ;
• la *production* : C.R.D.P. de la Réunion.

© HACHETTE LIVRE, 1997, 43, quai de Grenelle, F 75905 Paris Cedex 15.
© CNDP, 1997, 29, rue d'Ulm, F 75230 Paris Cedex 05.

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des articles L. 122-4 et L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et, d'autre part, que « les analyses et les courtes citations » dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite ».
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Réf. : 002 P8436 19/5397/5

Tous droits d'exploitation et de reproduction réservés au CNDP et à HACHETTE. La projection de ce vidéogramme est limitée à des séances gratuites organisées par l'emprunteur direct ou l'acquéreur, en ses locaux ou à l'utilisation gratuite en classe des établissements relevant de l'Education Nationale. Toute duplication, rétrocession, télédiffusion, télédistribution partielle ou totale est interdite. Les contrevenants s'exposent à des poursuites judiciaires.